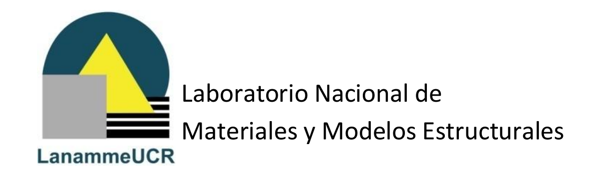




Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

LM-PI-UP-01-2012

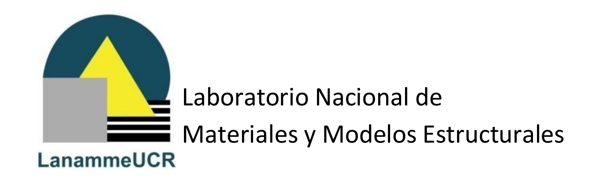
ENSAYOS DE TENSIÓN AXIAL AL ACERO DE UN PUENTE MODULAR TIPO BAILEY

Preparado por:
Unidad de Puentes



San José, Costa Rica
14 de diciembre de 2012

Página intencionalmente dejada en blanco





1. Informe: LM-PI-UP-01-2012	**2. Copia No.** 1
3. Título y subtítulo: Ensayos de tensión axial al acero de un puente modular tipo Bailey	**4. Fecha del informe** 14 de diciembre 2012

5. Organización y dirección

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio,
San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica
Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440

6. Notas complementarias

Ninguna.

7. Resumen

Se preparó este informe de verificación de las propiedades mecánicas del acero empleado en la fabricación del puente modular tipo Bailey que estaba instalado sobre la quebrada la Guaria en la Autopista General Cañas (Ruta No 1). Esta verificación es parte de los trabajos de evaluación de estructuras de puentes a lo largo de la red vial nacional y red vial en concesión que realiza la Unidad de Puentes del LanammeUCR según se establece en la ley 8114.

8. Palabras clave Puente, Modular, Bailey, ensayo, tensión, propiedades mecánicas, especificaciones	**9. Nivel de seguridad:** Ninguno	**10. Núm. de páginas** 42

11. Informe preparado por: Ing. Luis Guillermo Vargas Alas, Unidad de Puentes-LanammeUCR. **Fecha:** 14 / 12 / 2012		
12. Revisado por: Lic. Miguel Chacón Alvarado, Asesor Legal LanammeUCR. **Fecha:** 14 / 12 / 2012	**13. Revisado por:** Ing. Rolando Castillo Barahona, PhD. Coordinador Unidad de Puentes. **Fecha:** 14 / 12 / 2012	**14. Aprobado por:** Ing. Guillermo Loría Salazar, PhD. Coordinador General PITRA. **Fecha:** 14 / 12 / 2012

Página intencionalmente dejada en blanco

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 7

2. OBJETIVOS 7

3. ALCANCE 8

4. DESCRIPCIÓN DEL PUENTE MODULAR TIPO BAILEY Y DE LOS ELEMENTOS ENSAYADOS 8

5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y PROPIEDADES MECANICAS QUE DEBEN CUMPLIR LOS ELEMENTOS DE ACERO DEL PUENTE 11

6. NORMA DE ENSAYO ASTM A370 14

7. PROBETAS DE ENSAYO 18

8. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO 19

9. RESULTADOS 19

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 26

11. REFERENCIAS 28

ANEXO A Informe de ensayos preparado por el Laboratorio de infraestructura civil del Lanamme 31

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales - Código Postal 11501-2060, Universidad de Costa Rica, Costa Rica - Tel. (506) 2511-2500 - Fax (506) 2511-4440 - E-mail:dirección@lanamme.ucr.ac.cr

Página intencionalmente dejada en blanco

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales - Código Postal 11501-2060, Universidad de Costa Rica, Costa Rica - Tel. (506) 2511-2500 - Fax (506) 2511-4440 - E-mail:dirección@lanamme.ucr.ac.cr

1. INTRODUCCIÓN

Se preparó este informe de verificación de las propiedades mecánicas del acero empleado en la fabricación del puente modular tipo Bailey que estaba instalado sobre la quebrada la Guaria en la Autopista General Cañas (Ruta No 1). Esta verificación es parte de los trabajos de evaluación de estructuras de puentes a lo largo de la red vial nacional y red vial en concesión que realiza la Unidad de Puentes del LanammeUCR de conformidad con las responsabilidades que le competen según se establece en la ley 8114.

Se realizaron ensayos de tensión axial a especímenes de acero extraídos de varios elementos del puente que colapsó el pasado 6 de noviembre del 2012 cuando un vehículo pesado, con aparente sobrepeso, cruzaba el puente.

El Lanamme realizó una solicitud formal al CONAVI para obtener elementos del puente dañado para realizarle pruebas al acero con el fin de verificar ciertas propiedades mecánicas del material.

La elaboración de los especímenes y el ensayo respectivo a tensión axial fueron realizados por personal calificado del laboratorio de infraestructura civil del LanammeUCR siguiendo la norma de ensayo ASTM A370. La interpretación de los resultados fue realizada por la Unidad de Puentes.

2. OBJETIVOS

Los objetivos de este informe son:

1. Obtener las propiedades mecánicas del material acero utilizado en la fabricación del puente en estudio siguiendo el procedimiento recomendado en la norma ASTM 370 y con ello verificar la calidad del acero.
2. Examinar las diferencias que pueden existir entre las especificaciones con las que se rige el fabricante y las especificaciones técnicas requeridas por el MOPT y el CONAVI que se incluyen en los carteles de licitación.

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales - Código Postal 11501-2060, Universidad de Costa Rica, Costa Rica - Tel. (506) 2511-2500 - Fax (506) 2511-4440 - E-mail:dirección@lanamme.ucr.ac.cr

3. Verificar si los resultados obtenidos de los ensayos experimentales de probetas de acero cumplen con las recomendaciones incluidas en las especificaciones con las que se rige el fabricante según se indica en su manual técnico y las especificaciones técnicas del acero incluidas en los carteles de licitación preparados por el Ministerio de Obras Públicas (MOPT) y el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI).
4. Ofrecer recomendaciones para mejorar las especificaciones técnicas incluidas en los carteles de licitación que prepara el MOPT y el CONAVI y que están relacionadas con la calidad del acero.

3. ALCANCE

Este informe se limita a presentar los resultados obtenidos de un número limitado de especímenes extraídos de varios elementos de acero seleccionados por la Unidad de Puentes del Lanamme. Por lo tanto, las conclusiones y recomendaciones que aquí se presentan son derivadas a partir de estos ensayos. Los elementos seleccionados se describen en la sección 4 de este informe.

4. DESCRIPCIÓN DEL PUENTE MODULAR TIPO BAILEY Y DE LOS ELEMENTOS ENSAYADOS

Los puentes modulares tipo Bailey, según se observa en la Figura 1, están conformados por armaduras modulares de acero (panel), vigas transversales (transom), arriostramiento horizontal de piso (sway brace), arriostramiento vertical (vertical brace), cuerdas de refuerzo superior e inferior (chord reinforcement), postes de refuerzo para los paneles extremos (End post) y el arriostramiento inclinado de la cuerda superior de paneles (raker) entre otros.

Los paneles modulares se unen entre sí mediante pines de conexión o bulones. Las vigas transversales se apoyan sobre los paneles, los arriostre inclinados (raker) proveen soporte lateral a la cuerda superior del panel y los paneles de piso permiten el tránsito de los vehículos sobre el puente.

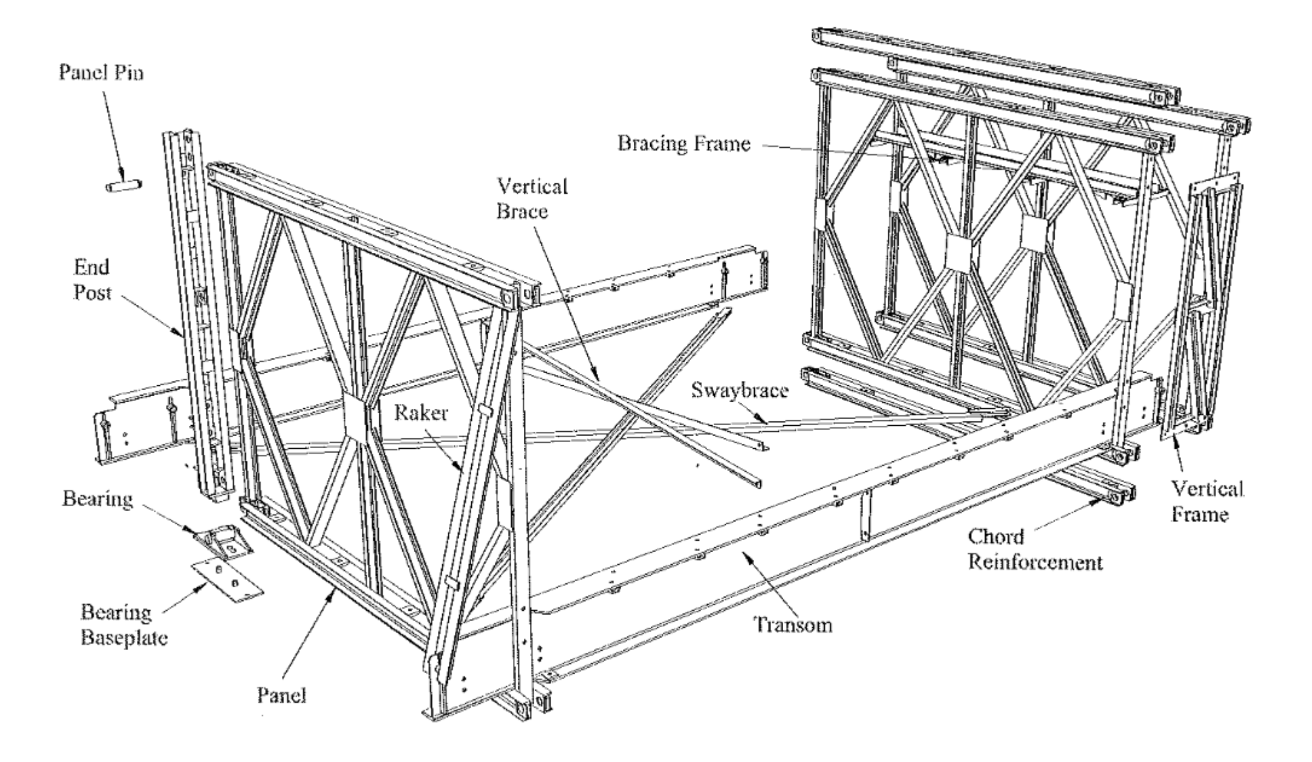


Figura 1. Elementos de un puente modular tipo Bailey fabricado por la empresa Mabey (Fuente: Manual informativo Mabey: Compact 200 – Super Panel bridge design data)

Los elementos entregados por el CONAVI para realizar los ensayos del acero fueron: 2 armaduras modulares (uno de la zona dañada y otro sin daño considerable), 1 viga transversal, 1 elemento del arriostramiento horizontal, 2 elementos de arriostramiento vertical, 2 bulones, 4 tornillos y 4 cuerdas de refuerzo con sus respectivos tornillos.

En la figura 2 se muestran las dos armaduras modulares que fueron entregados por el CONAVI y la Figura 3 muestra la armadura modular seleccionada para obtener varias probetas de acero. Este panel cuenta con la identificación de stock No CA361G que coloca el fabricante del puente a sus elementos.



Figura 2. Puente modular tipo Bailey colapsado en la autopista general Cañas (Fuente: Kölbi-MSN Noticias)



Figura 3. Panel modular utilizado para extraer los especímenes de acero a utilizar en los ensayos

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales - Código Postal 11501-2060, Universidad de Costa Rica, Costa Rica - Tel. (506) 2511-2500 - Fax (506) 2511-4440 - E-mail:dirección@lanamme.ucr.ac.cr

5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y PROPIEDADES MECANICAS QUE DEBEN CUMPLIR LOS ELEMENTOS DE ACERO DEL PUENTE

La Tabla No. 1 compara las especificaciones técnicas del acero que sigue el fabricante (según se indica en su manual técnico) con las especificaciones técnicas del acero que el MOPT y CONAVI hacen referencia en varios carteles de licitación.

Tabla No. 1. Especificaciones para los elementos de acero según se indica en el manual del fabricante y en varios carteles de licitación del MOPT y del CONAVI.

Elemento del puente	Normativa a las que el fabricante hace referencia en su manual técnico (1)	Especificaciones técnicas a las que el MOPT hace referencia en el cartel de licitación
Cuerdas del panel y cuerdas de refuerzo	BS 4360 calidad 55C o EN 10113 calidad S460N	AASHTO M270, equivalente a ASTM A572 o ASTM A709 mínimo Grado 50 ó BS 4360 Grado 50A o similar(2) AASHTO M270, equivalente a ASTM A572 o ASTM A709 mínimo Grado 65 ó BS 4360 Grado 55C o similar(3)
Otros elementos estructurales principales	BS 4360 calidad 50A o EN 10025 calidad S355	AASHTO M270, equivalente a ASTM A572 o ASTM A709 mínimo Grado 50 ó BS 4360 Grado 50A o similar(2) AASHTO M270, equivalente a ASTM A572 o ASTM A709 mínimo Grado 65 ó BS 4360 Grado 55C o similar(3)
Vigas transversales	BS 4360 calidad 55C o EN 10113 calidad S460N	AASHTO M270 equivalente a ASTM A572 ó ASTM A709 Grado 50 mínimo ó BS 4360 Grado 50A o similar(2)
Tableros	BS 4360 calidad 50A o EN 10025 calidad S355	AASHTO M270 equivalente a ASTM A572 ó ASTM A709 mínimo Grado 50 ó BS 4360 Grado 50A o similar(2)
Arriostramiento y partes restantes	BS4360 calidad 43 o EN 10025 calidad S275	AASHTO M102 equivalente a ASTM A572 ó ASTM A709 mínimo Grado 36 ó BS 4360 equivalente o similar(2)
Pines de conexión entre páneles o bulones	BS 970 calidad 709M40	AASHTO M270 equivalente a ASTM A668 ó ASTM A193 Grado B7 ó BS 970 o similar(2)
Pernos, tornillos y tuercas	BS 3692	AASHTO M164 equivalente a ASTM A325 ó BS 970 o similar(2)
Clips	BS 5216	No se especifica

(1) La última versión de la norma BS4360:1990 y fue sustituida por la norma BS EN 10025:2004. En este informe se utilizan los requisitos de calidad del acero que establece la norma BS EN 10025:2004.

(2) Basado en las especificaciones técnicas incluidas en el cartel de licitación MOPT 2010LN-000054-32700

(3) Las especificaciones marcadas están referidas en los carteles de licitación MOPT 2010CD-004090-32700 y CONAVI 2008LN-000013-CV. La diferencia que existe con el cartel MOPT 2010LN-000054-32700 aparenta ser un error.

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales - Código Postal 11501-2060, Universidad de Costa Rica, Costa Rica - Tel. (506) 2511-2500 - Fax (506) 2511-4440 - E-mail:dirección@lanamme.ucr.ac.cr

Se tiene información de que el suministro de este puente está asociado con la licitación Pública MOPT Nº 2010LN-000054-32700. La especificación técnica incluida en dicha licitación provee información sobre la calidad del acero según el tipo de elemento.

Sin embargo, una comparación realizada entre las especificaciones técnicas incluidas en esta licitación con aquellas incluidas en otros carteles similares para el suministro de puentes modulares como son la licitación pública del CONAVI 2008LN-000013-CV y la contratación directa del MOPT 2010CD-004090-32700 muestran una inconsistencia en los requerimientos estipulados para los paneles y cuerdas del puente ya que se especificó un acero con un grado menor. La diferencia observada aparenta ser un error, por lo tanto, la verificación del acero del puente realizada en ésta investigación se realizó con base en el acero especificado en los dos carteles antes mencionados ya que los requerimientos son más acorde con los especificaciones que el fabricante del puente dice cumplir.

De acuerdo con investigaciones realizadas a las especificaciones británicas y europeas que se muestran en la Tabla 1, se logró constatar que la norma BS 4360:1990 fue sustituida por la norma BS EN 10025:2004. Por lo tanto, se recomienda indicar en futuros carteles de licitación que la calidad del acero de los elementos de acero debe cumplir con la norma BS EN 10025: 2004 mas reciente si se decide continuar especificando esta normativa europea en futuras licitaciones.

Es necesario mencionar que en todos los carteles de licitación para el suministro de puentes Bailey examinados, se observó la costumbre de permitir el uso de especificaciones británicas, americanas o similares para especificar el acero de los puentes. Esta práctica se considera errónea ya que puede generar confusión cuando no se conoce las similitudes y diferencias entre las diferentes especificaciones. Adicionalmente, el término “o similares” permite el uso de especificaciones poco conocidas que podrían complicar su revisión. Por lo tanto, se recomienda que en futuros carteles de licitación se especifiquen normas americanas para especificar los elementos de acero y se elimine la frase “o similares”.

En la Tabla No 2 se presentan las propiedades mecánicas que deben cumplir los elementos de acero del puente.

Tabla No. 2. Propiedades mecánicas que deben cumplir los elementos de acero según la norma BS EN10025 y según los carteles de licitación del MOPT y CONAVI.

Elemento	Esfuerzo de fluencia mínimo del acero, F_y (MPa)		Esfuerzo último, F_u (MPa) [4]	Porcentaje de elongación mínimo para una longitud de control de L_o [4] [5]
	Según la norma BS EN 10025:2004 [1]	Requerido según el cartel de licitación		
Cuerdas del panel y cuerdas adicionales de refuerzo	460 MPa	3515 kg/cm² (345 MPa) [2] 4570 kg/cm2 (448 MPa) [3]	540 – 720	17%
Otros elementos estructurales principales [4]	355 MPa	3515 kg/cm² (345 MPa) [2] 4570 kg/cm2 (448 MPa) [3]	470 – 630	22%
Vigas transversales [4]	460 MPa	3515 kg/cm² (345 MPa) [2]	540 – 720	17%
Tableros	355 MPa	3515 kg/cm² (345 MPa) [2]	470 – 630	22%
Arriostramiento y partes restantes	275 MPa	2531 kg/cm² (248 MPa) [2]	410 - 560	23%

(1) El esfuerzo de fluencia según la norma BS EN 10025:2004 es el mismo que sigue el fabricante según se indica en su manual técnico.

(2) Esfuerzo de fluencia que se menciona en las especificaciones técnicas del cartel de licitación MOPT 2010LN-000054-32700

(3) El esfuerzo de fluencia mínimo especificado para los paneles y cuerdas de refuerzo en los carteles de licitación MOPT 2010CD-004090-32700 y CONAVI 2008LN-000013-CV.

(4) El esfuerzo último y la elongación mínima no se especifica en el manual del fabricante ni en los carteles de licitación. Estas dos propiedades provienen de la norma BS EN 10025:2004 que sustituyó la BS4360:1990 y es la que aparece indicada en el manual del fabricante. El esfuerzo último y la elongación mínima que se muestran en la tabla se obtuvieron de la norma de calidad BS EN 10025:2004.

(5) En la norma BS EN 10025:2004 se especifica una elongación mínima dentro de la longitud de control, L_o, que especifica esta norma.

De la Tabla No2, se puede observar que existe una diferencia entre los esfuerzos de fluencia mínimos para los elementos de acero especificados en la norma BS EN 10025:2004 y los especificados en los carteles de licitación. También, se notó que el esfuerzo de fluencia de todos los elementos de acero, con la excepción de "otros elementos estructurales principales", es menor.

Adicionalmente, la Tabla No2 muestra que el cartel de licitación especifica el mismo esfuerzo de fluencia para todos los elementos del panel contrario a lo que indica el fabricante del puente en su manual técnico donde el esfuerzo de fluencia de las cuerdas del panel es diferente al de los elementos verticales y diagonales. No se conoce la razón de estas diferencias y debido a la inconsistencia se recomienda hacer una revisión de las especificaciones y de los esfuerzos de fluencia recomendados para determinar si no existe un error en los requisitos que establecen los carteles de licitación.

6. NORMA DE ENSAYO ASTM A370

Los ensayos a tensión axial realizados en probetas de acero fueron llevados a cabo por el laboratorio de infraestructura civil del Lanamme siguiendo los requerimientos incluidos en la especificación ASTM A370.

La especificación ASTM A370 presenta información variada como las dimensiones que deben tener los especímenes, la velocidad de ensayo y los procedimientos para determinar las propiedades del material con base en el ensayo de tensión axial.

El ensayo de probetas consiste en la aplicación de una carga en tensión axial a un especímenes estándar. El informe de ensayo incluido en el anexo A de este informe, incluye información sobre las secciones de la norma ASTM A370 que aplican para el ensayo de probetas.

El laboratorio de infraestructura civil utiliza la máquina universal MTS 810 para realizar el ensayo respectivo. Esta máquina tiene una capacidad máxima de 250 kN y una separación máxima entre cabezas de 950 mm. La máquina permite realizar ensayos a tensión y compresión axial. Posee mordazas intercambiables, según el tipo de ensayo que se realice (ver figura 1).

Durante el ensayo, se realizó la medición de la deformación unitaria del elemento. Para ello, se colocó un extensómetro digital que mide la deformación unitaria en la longitud de control de la probeta. El extensómetro tiene la capacidad de medir hasta un 50 % de deformación unitaria. Este instrumento se remueve una vez que se alcanza una deformación del 10%

para protegerlo de una falla súbita del material. La deformación final de la probeta en su longitud de control se realiza manualmente.

En la norma de ensayo ASTM A370 se menciona que es deseable que el espécimen se fracture dentro de la sección de control para el ensayo (ver figura 2). Para los especímenes de estos ensayos se utilizó una longitud de control de 50 mm.

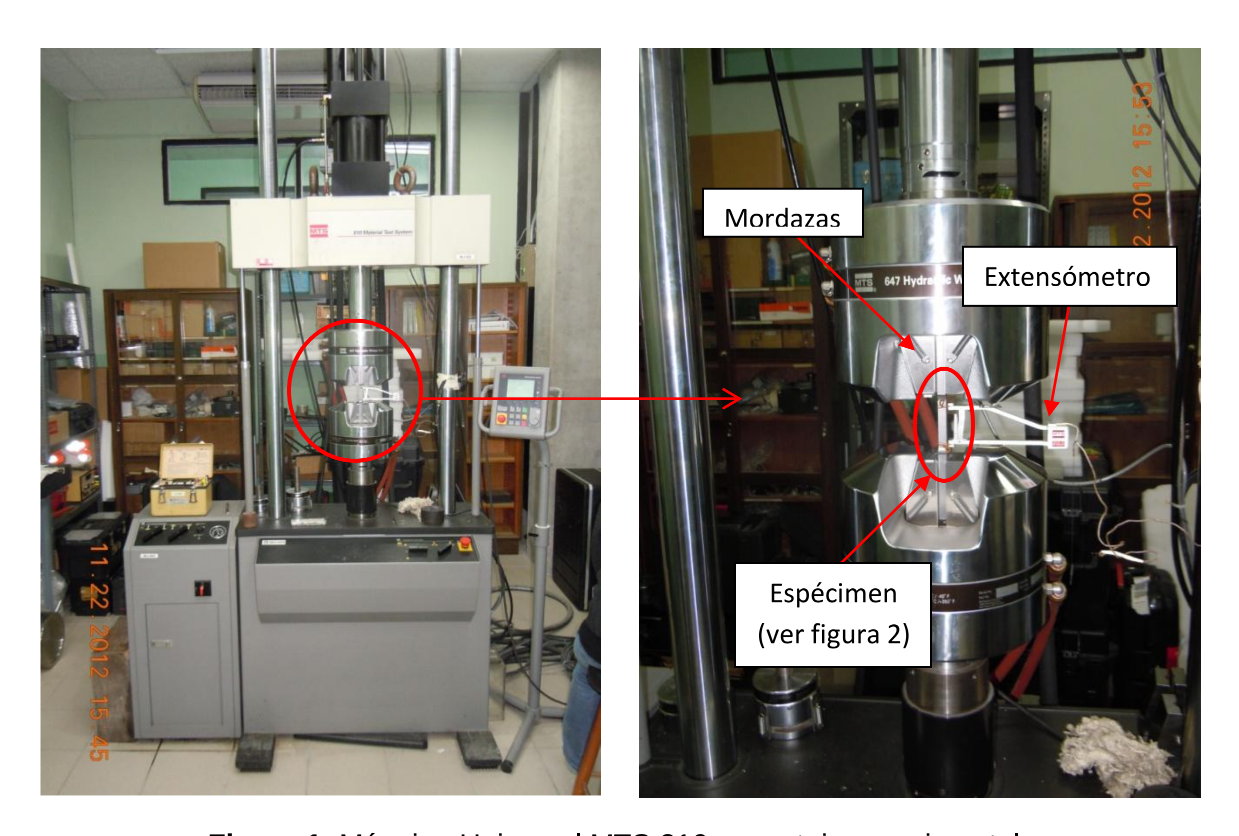


Figura 1. Máquina Universal MTS 810 y montaje experimental.

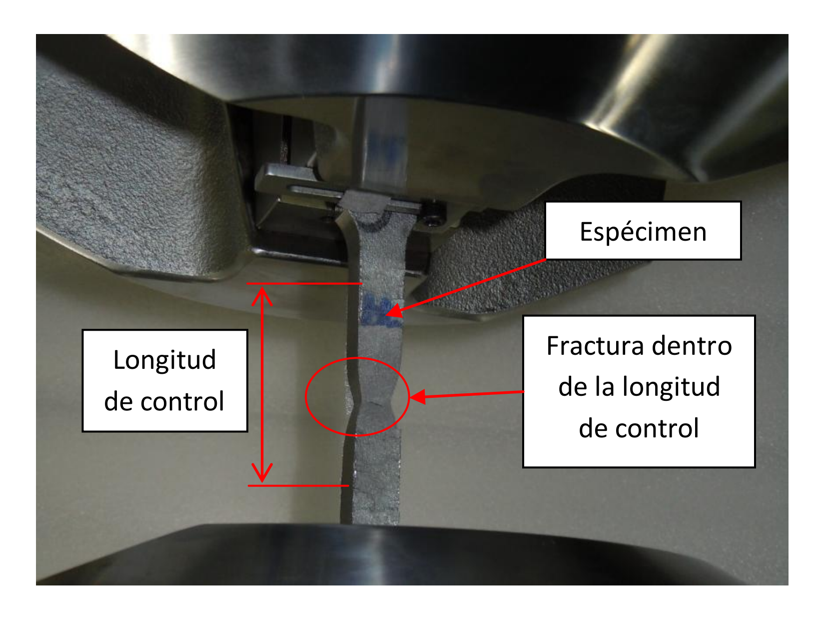


Figura 2. Fractura dentro de la longitud de control de un espécimen típico.

6.1. Calculo del esfuerzo de fluencia

En la norma de ensayo ASTM A370, el esfuerzo de fluencia se define como el esfuerzo R_{EL} que se desarrolla en el rango plástico según se muestra esquemáticamente en la figura 3.

Sin embargo, la norma europea de ensayo ISO 6892-1:2009 especifica el cálculo del esfuerzo de fluencia de manera distinta. Según esta norma, el esfuerzo de fluencia resulta ser el punto más alto que alcanza el esfuerzo en el rango plástico de la curva esfuerzo-deformación. Este valor se denomina como R_{EH} el cual también se muestra en la figura 3.

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales - Código Postal 11501-2060, Universidad de Costa Rica, Costa Rica - Tel. (506) 2511-2500 - Fax (506) 2511-4440 - E-mail:dirección@lanamme.ucr.ac.cr

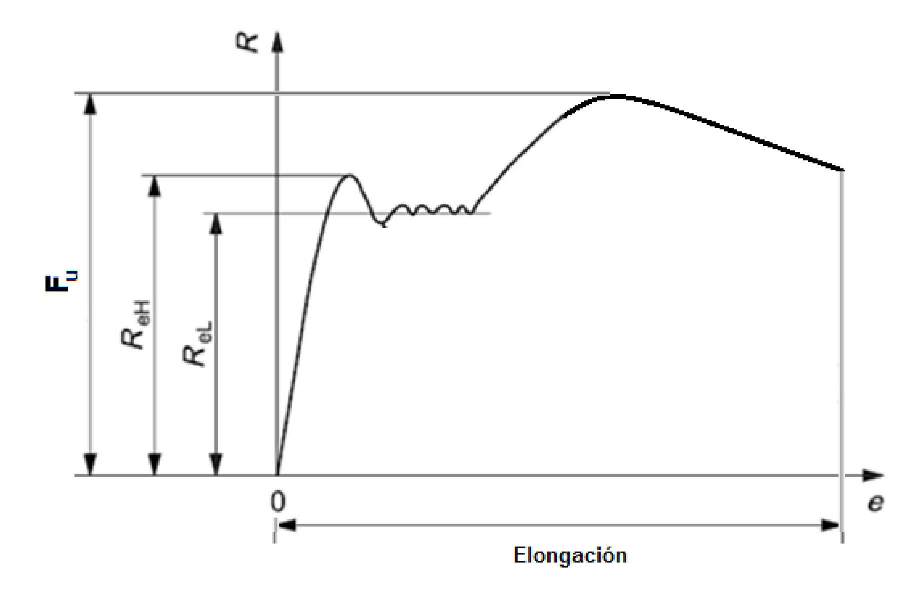


Figura 3. Gráfico típico esfuerzo- deformación.

Fuente: ISO 6892-1:2009, modificado por Unidad de puentes

El esfuerzo de fluencia de aceros especificados con normas europeas se determina de manera distinta a como se especifican en las normas americanas. En la norma europea, el esfuerzo de fluencia resulta ser mayor al que se determina con las normas americanas. Las normas americanas establecen un esfuerzo de fluencia menor y más apegada al valor constante que se alcanza en el rango plástico.

6.2. Calculo del esfuerzo último

El esfuerzo último se define como el esfuerzo máximo o resistencia a la tensión, F_u que se desarrolla durante el ensayo según se muestra en la figura 3. La determinación de esta propiedad se obtiene de igual manera en la norma europea de ensayo ISO 6892-1: 2009 y en la norma americana ASTM A370.

6.3. Calculo de la elongación

La elongación a la ruptura se obtiene al juntar la probeta fallada y se mide manualmente la longitud de control entre las marcas realizadas previo al ensayo del

espécimen fracturado. La elongación resulta ser la diferencia porcentual entre la longitud de control original antes del ensayo y la longitud después del ensayo.

7. PROBETAS DE ENSAYO

El programa de verificación comprendió el ensayo de 10 probetas de acero. Los elementos de origen de las probetas se describen en la tabla No2 donde también se indica el tipo de perfil y el espesor respectivo. Seis especímenes fueron obtenidos del panel de acero en las zonas que se muestran en la figura 6. También se obtuvieron probetas de: una cuerda de refuerzo, dos de la viga transversal y una de un arriostre transversal.

Las probetas de ensayo son del tipo lámina rectangular y se fabricaron con las dimensiones que se especifican en la norma ASTM 370. Estas dimensiones se muestran en la tabla 1 y la figura 1 del informe de ensayo preparado por el laboratorio de infraestructura civil que se incluye en el anexo A.

Tabla No. 2. Detalles de las probetas de ensayo.

Número de espécimen	Número de muestra del laboratorio	Elemento de origen	Tipo de perfil según mediciones reales	Espesor (mm)
1	2378-12	Vertical del panel (alma)	Canal 75 mm x 40 mm	5,86
2	2379-12	Diagonal del panel (alma)	Canal 75 mm x 40 mm	5,87
3	2349-12	Cuerda inferior del panel (alma)	Canal 100 mm x 50 mm	10,25
4	2350-12	Refuerzo de cuerda inferior del panel (alma)	Canal 100 mm x 50 mm	10,77
5	2351-12	Refuerzo de cuerda superior del panel (alma)	Canal 100 mm x 50 mm	10,27
6	2384-12	Cuerda superior del panel (alma)	Canal 100 mm x 50 mm	10,43
7	2383-12	Ala de viga Transom	Sección I 400 mm x 175 mm	12,76
8	2381-12	Alma de viga Transom	Sección I 400 mm x 175 mm	8,31
9	2380-12	Arriostre horizontal (alma)	Canal 78 mm x 38 mm	5,79
10	2382-12	Arriostre vertical	Angular 60 mm x 60 mm	5,28

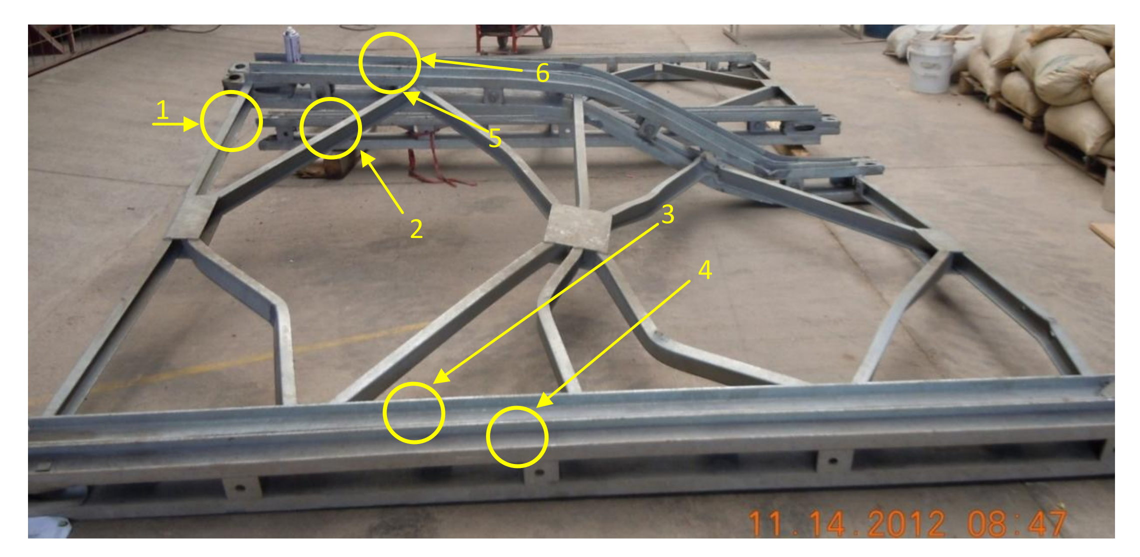


Figura 6. Panel de puente tipo Bailey obtenido para el ensayo.
Nota: Los números corresponden a la identificación dada por la Unidad de Puentes a cada espécimen.

8. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

El procedimiento de ensayo se describe en la sección 5 del informe de ensayo que se adjunta en el anexo A de este documento.

9. RESULTADOS

Las propiedades mecánicas analizadas durante los ensayos de probetas de acero sujetas a tensión axial fueron: esfuerzo de fluencia, esfuerzo último a tensión y porcentaje de elongación. A continuación se analizan los resultados obtenidos según el informe de ensayo que se adjunta en el Anexo A.

9.1. Esfuerzo de fluencia

La Tabla No4 compara los esfuerzos de fluencia mínimos especificados en los carteles de licitación con los resultados experimentales obtenidos según la norma de ensayo ASTM A370 y la norma de ensayo ISO 6892-1: 2009 (especificada en la norma BS EN 10025) para los 10 especímenes investigados. Favor referirse a la sección 6.1 donde se explica cómo se determina el esfuerzo de fluencia según cada norma de ensayo.

La tabla No.4 muestra que el esfuerzo de fluencia de los especímenes 1, 2 y 5 (determinado conforme la norma de ensayo ASTM A370) fue 6%, 1.3% y 0.9%, menor al esfuerzo de fluencia mínimo especificado en los carteles de licitación pública del CONAVI 2008LN-000013-CV y la contratación directa del MOPT 2010CD-004090-32700. En el caso que se utilice los esfuerzos mínimos especificados en el cartel de licitación Pública MOPT Nº 2010LN-000054-32700, el cual aparenta tener un error en el esfuerzo mínimo especificado para paneles y cuerdas, todos los elementos cumplen.

La misma tabla también muestra que el esfuerzo de fluencia de los especímenes 1 y 2 (determinado conforme la norma de ensayo ISO 6892-1:2009) fue 6% y 1.3% menor que el esfuerzo de fluencia mínimo especificado en los carteles de licitación pública del CONAVI 2008LN-000013-CV y la contratación directa del MOPT 2010CD-004090-32700. En el caso que se utilicen los esfuerzos mínimos especificados en el cartel de licitación Pública MOPT Nº 2010LN-000054-32700, el cual aparenta tener un error en el esfuerzo mínimo especificados para los paneles y cuerdas, todos los elementos cumplen.

Con base en los resultados obtenidos, se concluye que todos los elementos cumplen si se utilizan los esfuerzos mínimos especificados en el cartel de licitación Pública MOPT Nº 2010LN-000054-32700.

Si se corrobora que existe un error, el esfuerzo mínimo especificado para paneles y cuerdas que se incluye en la licitación Pública MOPT Nº 2010LN-000054-32700, y más bien aplican los esfuerzos mínimos que se especificaron tanto en la licitación pública del CONAVI 2008LN-000013-CV como en la contratación directa del MOPT 2010CD-004090-32700, se concluye que el esfuerzo mínimo determinado con la norma europea ISO 6892-1: 2009 para los elementos 1 y 2 excede en 6% y un 1.3% respectivamente el esfuerzo mínimo estipulado en estos carteles. Si este fuera el caso entonces quedaría a criterio del MOPT y del CONAVI aceptar o no el producto suministrado.

Tabla No. 4. Comparación de los esfuerzos de fluencia mínimos especificados en los carteles de licitación con los resultados experimentales obtenidos.

Número de espécimen	Esfuerzo de fluencia mínimo, F_y (MPa)	Esfuerzos de fluencia obtenidos experimentalmente (MPa)			
	Según se especifica en los carteles	Determinado según la norma de ensayo ASTM A370		Determinado según la norma de ensayo ISO 6892-1:2009	
1	345 [1] (448) [2]	423[3]	Sí cumple	423[4]	Sí cumple
2		442[3]		442[4]	
3		491		535	
4		475		476	
5		444 [3]		483	
6		474		513	
7	345[1]	463		474	
8		451		472	
9	248[1]	434		434	
10		409		439	

(1) Esfuerzo de fluencia mínimo especificado en el cartel de licitación MOPT 2010LN-000054-32700

(2) Esfuerzo de fluencia mínimo especificado para los paneles y cuerdas de refuerzo en los carteles de licitación MOPT 2010CD-004090-32700 y CONAVI 2008LN-000013-CV, donde se especifica un esfuerzo de fluencia mínimo de 4570 kg/cm^2 (448 MPa).

(3) El esfuerzo de fluencia determinado por ASTM A370 para los especímenes 1,2 y 5 no cumpliría con el esfuerzo mínimo especificado en los carteles MOPT 2010CD-004090-32700 y CONAVI 2008LN-000013-CV

(4) El esfuerzo de fluencia determinado por ISO 6892-1 para los especímenes 1 y 2 no cumpliría con el esfuerzo mínimo especificado en los carteles MOPT 2010CD-004090-32700 y CONAVI 2008LN-000013-CV

La Tabla No 5 compara los esfuerzos de fluencia mínimos especificados en la norma BS EN 10025:2004 con los resultados experimentales obtenidos según la norma de ensayo ASTM A370 y la norma de ensayo ISO 6892-1: 2009 (especificada en la norma BS EN 10025) para los 10 especímenes investigados.

Esta tabla se muestra con el objetivo de mostrar el resultado si el cartel de licitación hubiera especificado esfuerzos de fluencia mínimos e iguales a los indicados en la norma europea BS EN 10025. Se considera que estos esfuerzos mínimos debieron haber especificado en todos los carteles de licitación cuando se especifica la norma europea BS EN 10025:2004.

Se puede observar que el esfuerzo de fluencia del espécimen 5, (determinado según la norma ASTM A370) fue 3.5% menor que el esfuerzo de fluencia mínimo especificado en la norma BS EN10025.

Sin embargo, si el esfuerzo de fluencia se determina según la norma de ensayo ISO 6892-1: 2009 todos los elementos llegan a cumplir con el esfuerzo de fluencia mínimo especificado por la norma BS EN 10025:2004.

Con base en los resultados obtenidos se concluye que todos los elementos cumplirían con los esfuerzos mínimos especificados si se utiliza la normativa europea únicamente.

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales - Código Postal 11501-2060, Universidad de Costa Rica, Costa Rica - Tel. (506) 2511-2500 - Fax (506) 2511-4440 - E-mail:dirección@lanamme.ucr.ac.cr

Tabla No.5. Comparación de los esfuerzos de fluencia mínimos especificados en la norma BS EN 10025:2004 con los resultados experimentales obtenidos.

Número de espécimen	Esfuerzo de fluencia mínimo, F_y (MPa)	Esfuerzos de fluencia obtenidos experimentalmente (MPa)			
	Según la norma BS EN 10025:2004 a la cual refiere el fabricante	Determinado según la noma de ensayo ASTM A370		Determinado según la norma de ensayo ISO 6892-1	
1	355	423	Sí Cumple	423	Sí Cumple
2		442		442	
3	460	491		535	
4		475		476	
5		444	No Cumple	483	
6		474	Sí Cumple	513	
7	460	463		474	
8		451		472	
9	275	434		434	
10		409		439	

9.2. Esfuerzo último

En la Tabla No6 se compara el rango de esfuerzo último especificado en la norma europea BS EN 10025:2004 y el esfuerzo último obtenido experimentalmente.

El esfuerzo último alcanzado por todos los especímenes cumple con el rango de esfuerzo último que especifica la norma BS EN 10025:2004 y por lo tanto el acero si cumple con la normativa especificada en todos los carteles de licitación del MOPT y del CONAVI.

Tabla No6. Comparación entre el esfuerzo último especificado y el esfuerzo obtenido experimentalmente

<table>
<tr><th>Número de espécimen</th><th>Rango de esfuerzo último especificado en BS EN 10025:2004 (MPa)</th><th colspan="2">Esfuerzo último (MPa)</th></tr>
<tr><td>1</td><td rowspan="2">470 – 630</td><td>504</td><td rowspan="10">Sí cumple</td></tr>
<tr><td>2</td><td>528</td></tr>
<tr><td>3</td><td rowspan="4">540 – 720</td><td>624</td></tr>
<tr><td>4</td><td>603</td></tr>
<tr><td>5</td><td>579</td></tr>
<tr><td>6</td><td>608</td></tr>
<tr><td>7</td><td rowspan="2">540 – 720</td><td>567</td></tr>
<tr><td>8</td><td>564</td></tr>
<tr><td>9</td><td rowspan="2">410 – 560</td><td>518</td></tr>
<tr><td>10</td><td>550</td></tr>
</table>

9.3. Elongación

La tabla No.7 compara la elongación mínima especificada con la elongación obtenida experimentalmente. Con base en los resultados obtenidos se concluye que todos los especímenes cumplen con la elongación mínima especificada en la norma BS EN 10025:2004 y por lo tanto el acero cumple con la normativa especificada en todos los carteles de licitación del MOPT y del CONAVI.

Se aclara que los porcentajes de elongación mostrados en la tabla No7 difieren de los resultados obtenidos en los ensayos experimentales (ver informe de ensayo del anexo A) ya que estos fueron convertidos a porcentajes de elongación compatibles con la normativa europea BS EN 10025:2004. La norma de ensayo EN ISO 2566-1: 1999 explica cómo se realizó esta conversión.

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales - Código Postal 11501-2060, Universidad de Costa Rica, Costa Rica - Tel. (506) 2511-2500 - Fax (506) 2511-4440 - E-mail:dirección@lanamme.ucr.ac.cr

Tabla No7. Comparación de la elongación mínima especificada en BS EN 10025:2004 y la elongación obtenida experimentalmente

Número de espécimen	**Porcentaje de elongación mínima en la longitud de control, L_o, especificada en BS EN 10025:2004**	**Porcentaje de elongación para una longitud de control, L_o[(1)] (%)**	
1	22%	27,1	Sí cumple
2		24,4	
3	17%	26,8	
4		29,2	
5		27,5	
6		26,3	
7	17%	28,3	
8		27,1	
9	23%	24,7	
10		26,5	

(1) Porcentaje de elongación compatible con la norma EN BS10025:2004. Los resultados obtenidos experimentalmente para una longitud de control de 50mm (ver anexo A) fueron convertidos para hacerlos compatibles con la norma EN BS10025:2004. La norma EN ISO 2566-1: 1999 se utilizó para realizar esta conversión.

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales - Código Postal 11501-2060, Universidad de Costa Rica, Costa Rica - Tel. (506) 2511-2500 - Fax (506) 2511-4440 - E-mail:dirección@lanamme.ucr.ac.cr

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este informe se presenta la verificación de las propiedades mecánicas del acero del puente modular tipo Bailey que estaba instalado sobre la quebrada la Guaria en la Autopista General Cañas (Ruta No 1) y que colapsó el pasado 6 de noviembre 2012 cuando cruzaba un vehículo pesado con aparente sobrepeso.

Para verificar el cumplimiento del acero con el que está fabricado éste puente se realizó una investigación sobre las normas de calidad que rigen estos aceros. De esta investigación se concluye y se recomienda lo siguiente:

1. Se constató que la norma BS 4360:1990 fue sustituida por la norma BS EN 10025:2004. Por lo tanto, se recomienda modificar los futuros carteles de licitación en lo que respecta a la calidad del acero para que se cumpla con esta norma si se decidiera continuar especificando normativa europea en futuras licitaciones.
2. En los carteles de licitación para el suministro de puentes Bailey se acostumbra permitir el uso de especificaciones británicas, americanas o similares para normar el material de acero requerido. Esta práctica puede generar confusión si es que no se conoce cuáles son las similitudes y diferencias entre las especificaciones. Es por ello que se recomienda incluir una sola especificación, preferiblemente la americana, en los carteles de licitación. Si esto no fuera posible, se recomienda especificar normativa americana y europea únicamente y se debería eliminar el término “o similar”.
3. Se recomienda que el MOPT y el CONAVI se informe sobre cuáles son las similitudes y las diferencias entre las diferentes normativas que especifica para establecer los valores de fluencia mínimos del acero para su inclusión en la especificación técnica del cartel.
4. Se recomienda que el MOPT y el CONAVI revise los esfuerzos de fluencia mínimos que actualmente se especifican en los carteles de licitación.
5. El esfuerzo de fluencia de aceros especificados con normas europeas se determina de manera distinta a como se especifican en las normas americanas. En la norma

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales - Código Postal 11501-2060, Universidad de Costa Rica, Costa Rica - Tel. (506) 2511-2500 - Fax (506) 2511-4440 - E-mail:dirección@lanamme.ucr.ac.cr

europea, el esfuerzo de fluencia resulta ser mayor al que se determina con las normas americanas. Las normas americanas establecen un esfuerzo de fluencia menor y más apegada al valor constante que se alcanza en el rango plástico. Por lo tanto, existe la posibilidad que algunos ensayos cumplan al utilizar una norma y no cumplen con la otra.

A partir de la investigación realizada a las especificaciones técnicas incluidas en los carteles de licitación se concluye lo siguiente:

6. En el cartel de licitación MOPT N° 2010LN-000054-32700 con el que se realizó la compra del puente en estudio se muestra una inconsistencia en la resistencia del acero especificada con respecto a los carteles de licitación pública del CONAVI 2008LN-000013-CV y de contratación directa del MOPT 2010CD-004090-32700 para los paneles y cuerdas del puente ya que se especificó un acero con un grado menor. La diferencia detectada aparenta ser un error ya que los requerimientos de los dos carteles que parecen correctos están más acorde con las especificaciones que el fabricante del puente dice cumplir. Por lo tanto se recomienda revisar, y corregir, si fuera el caso, los esfuerzos de fluencia mínimos que se han venido especificando en los carteles para compra de puentes modulares tipo Bailey.

Luego de analizar los resultados obtenidos de ensayos a probetas de acero, se concluye lo siguiente:

7. Con base en los resultados obtenidos, se concluye que todos los elementos cumplen si se utilizan los esfuerzos mínimos especificados en el cartel de licitación Pública MOPT Nº 2010LN-000054-32700.

8. Si se corrobora que existe un error en el esfuerzo mínimo especificado para paneles y cuerdas que se incluye en la licitación Pública MOPT Nº 2010LN-000054-32700 y más bien se determina que mas bien aplican los esfuerzos mínimos que se especificaron tanto en la licitación pública del CONAVI 2008LN-000013-CV como en la contratación directa del MOPT 2010CD-004090-32700, se concluye que el esfuerzo mínimo determinado con la norma europea ISO 6892-1: 1999 para los elementos 1 y 2 excede en 6% y 1.3% respectivamente el esfuerzo mínimo

estipulado en estos carteles. Si este fuera el caso, entonces quedaría a criterio del MOPT y del CONAVI aceptar o no el producto suministrado. Es por lo anterior, que se recomienda revisar los esfuerzos mínimos que se han venido especificando en los carteles de licitación para determinar si existe un error que debe ser corregido.

9. Se considera que los esfuerzos mínimos que especifica la norma europea BS EN100025 debieron haber ser incluidos en los carteles de licitación cuando se especifica el cumplimiento de la norma europea BS EN 10025:2004. Si este hubiera sido el caso, todos los elementos cumplirían con los esfuerzos mínimos especificados.

10. Con base en los resultados obtenidos, se concluye que el esfuerzo último alcanzado por todos los especímenes cumple con el rango de esfuerzo último que especifica la norma BS EN 10025:2004, y por lo tanto, el acero cumple con el esfuerzo último requerido en la normativa especificada en todos los carteles de licitación del MOPT y del CONAVI.

11. Con base en los resultados obtenidos se concluye que todos los especímenes cumplen con la elongación mínima especificada en la norma BS EN 10025:2004 y por lo tanto el acero cumple con la elongación mínima requerida en la normativa especificada en todos los carteles de licitación del MOPT y del CONAVI.

11. REFERENCIAS

[1] ASTM A370-12a. Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products. ASTM International, 2012.

[2] BS 4360: 1990. British Standard Specification for Weldable structural steels. British Standards Institution, 1990.

[3] Contratación Directa # 2010CD-004090-32700: Adquisición de dos puentes modulares lanzables tipo Bailey. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010.

[4] EN ISO 2566-1: 1999. Steel – Conversion of elongation values – Part 1: Carbon and Low alloy steels (ISO 2566-1: 1984). European Committee of standardization, 1999.

[5] ISO 6892-1:2009 Metallic materials — Tensile testing — Part 1: Method of test at room temperature. First edition 2009-08-15.

[6] Licitación Pública 2008LN-000013-CV: Suministro de puentes modulares metálicos lanzables. Consejo Nacional de Vialidad, 2008

[7] Licitacion Pública Nº 2010LN-000054-32700: Suministro de puentes modulares lanzables tipo Bailey. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010.

[8] Mabey Bridge (2010). Compact 200 Panel Bridging Technical and construction manual for an 18 bay DSHR2H++ Extra Wide Bridge. MOPT Costa Rica. Publication reference S02114-500A

Página intencionalmente dejada en blanco

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales - Código Postal 11501-2060, Universidad de Costa Rica, Costa Rica - Tel. (506) 2511-2500 - Fax (506) 2511-4440 - E-mail:dirección@lanamme.ucr.ac.cr

ANEXO A
Informe de ensayos preparado por el Laboratorio de Infraestructura Civil del Lanamme

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales - Código Postal 11501-2060, Universidad de Costa Rica, Costa Rica - Tel. (506) 2511-2500 - Fax (506) 2511-4440 - E-mail:dirección@lanamme.ucr.ac.cr

Página intencionalmente dejada en blanco

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales - Código Postal 11501-2060, Universidad de Costa Rica, Costa Rica - Tel. (506) 2511-2500 - Fax (506) 2511-4440 - E-mail:dirección@lanamme.ucr.ac.cr



Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica



No. de informe: I-1080-12

Informe de Ensayo

RC-80 v.04 (Sistema de Gestión de Calidad, LanammeUCR. Norma INTE ISO/IEC 17025:2005)

ST- 1121 -12

1. Información del cliente:

Nombre: **Unidad de Puentes – LanammeUCR**

Proyecto: Puente Bailey General Cañas, Los Arcos

Domicilio: San Pedro de Montes de Oca, San José

2. Método de ensayo:

ASTM A 370 (**) Ensayo de probetas de acero en tensión.

(**) Ensayo no acreditado.

3. Información de la(s) muestra(s) o espécimen(es) de ensayo:

No. de identificación:	Descripción:
2349-12	1 probeta identificada por el interesado como #3. Cuerda inferior, puente Bailey, panel dañado, proveniente de la muestra del LanammeUCR M-2257-12.
2350-12	1 probeta identificada por el interesado como #4. Refuerzo de cuerda inferior, puente Bailey, panel dañado, proveniente de la muestra del LanammeUCR M-2257-12.
2351-12	1 probeta identificada por el interesado como #5. Refuerzo de cuerda superior, puente Bailey, panel dañado, proveniente de la muestra del LanammeUCR M-2257-12.
2378-12	1 probeta identificada por el interesado como #1. Espesor de 5.5 mm aproximadamente. Elemento vertical extremo del panel de cercha del puente Bailey, proveniente de la muestra del LanammeUCR M-2257-12.

LanammeUCR
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
U.C.R.



Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica



No. de informe: I-1080-12

2379-12	1 probeta identificada por el interesado como #2. Espesor de 5.5 mm aproximadamente. Elemento diagonal del panel de cercha del puente Bailey, proveniente de la muestra del LanammeUCR M-2257-12.
2380-12	1 probeta identificada por el interesado como #9. Espesor de 5.5 mm aproximadamente. Arriostre horizontal, proveniente de la muestra del LanammeUCR M-2257-12.
2381-12	1 probeta identificada por el interesado como #8. Espesor de 8 mm aproximadamente. Alma de la viga Transom (transversal), proveniente de la muestra del LanammeUCR M-2257-12.
2382-12	1 probeta identificada por el interesado como #10. Espesor de 5 mm aproximadamente. Arriostre vertical (angulares), proveniente de la muestra del LanammeUCR M-2257-12.
2383-12	1 probeta identificada por el interesado como #7. Espesor de 12 mm aproximadamente. Ala de la viga Transom (tranversal), proveniente de la muestra del LanammeUCR M-2257-12.
2384-12	1 probeta identificada por el interesado como #6. Espesor de 10 mm aproximadamente. Cuerda superior, proveniente de la muestra del LanammeUCR M-2257-12.
Aportadas por:	Ing. Ana Monge (LanammeUCR)
Fecha de recepción :	2349-12 a 2351-12: 2012/11/22 2378-12 a 2384-12: 2012/11/28
Fecha de realización del ensayo:	2349-12 a 2351-12: 2012/11/22 2378-12 a 2382-12 y 2384-12: 2012/11/28 2383-12: 2012/12/03

4. Información del muestreo:

Muestreo realizado por el interesado.

Página 2 de 10





Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica



No. de informe: I-1080-12

5. Resultados:

5.1 Procedimiento de ensayo

La extracción de las probetas se hizo en los puntos señalados por el personal de la Unidad de Puentes del LanammeUCR. La preparación de las probetas se realizó según lo establecido en la figura 3 de la norma ASTM A 370.

El ensayo de tensión de probetas se realiza siguiendo el procedimiento de la norma ASTM A 370 secciones 5, 6, 7 (para las velocidades del ensayo se utilizó la sección 7.4.1), 8, 9, 12, 13 (13.1.2 para la determinación de la fluencia y 13.4.1 para la determinación de la elongación).

Las velocidades reales del ensayo fueron de 0.004 mm/mm/min hasta la fluencia y posteriormente la velocidad fue de 0.22 mm/mm/min hasta la falla.

Los valores de fluencia se determinan según la norma ASTM A 370 sección 13.1.2 y adicionalmente, a solicitud el interesado se está presentando la fluencia determinada en el pico (R_{EH}), según lo establece la norma de especificación BS4360 y en el método de ensayo ISO 6892-1.

5.2 Resultados del ensayo

Tabla 1. Mediciones geométricas de las probetas

ESPÉCIMEN	L (mm)	A (mm)	C (mm)	G (mm)	W (mm)	T (mm)
2349-12	248	60,5	20,0	50,3	12,7	10,25
2350-12	249	60,2	20,0	49,9	12,7	10,77
2351-12	249	60,3	20,0	50,2	12,6	10,27
2378-12	250	60,4	20,1	50,0	12,6	5,86
2379-12	251	59,9	20,0	50,0	12,7	5,87
2380-12	251	60,2	20,1	50,4	12,7	5,79
2381-12	251	60,2	20,1	50,2	12,7	8,31
2382-12	246	60,2	20,1	50,1	12,5	5,28
2383-12	246	60,1	20,0	49,9	12,6	12,76
2384-12	246	59,9	20,1	50,0	12,6	10,43





Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica



No. de informe: I-1080-12

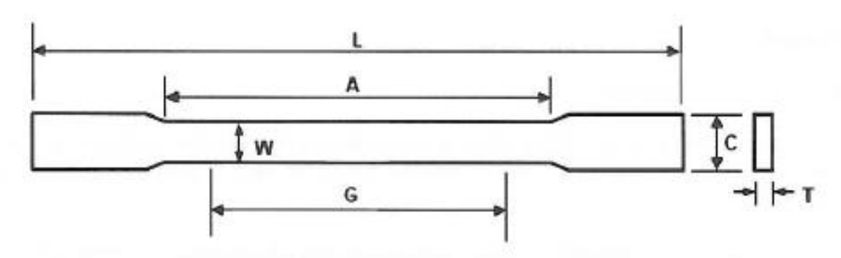


Figura 1. Esquema de mediciones de la probeta

Tabla 2. Resultado del ensayo de tensión a probetas

ESPÉCIMEN	CARGA FLUENCIA (1) (kN)	CARGA FLUENCIA (2) (kN)	CARGA MÁXIMA (kN)	ESFUERZO FLUENCIA (1)		ESFUERZO FLUENCIA (2)		ESFUERZO MÁXIMO		ELONG. %
				(MPa)	(kgf/cm²)	(MPa)	(kgf/cm²)	(MPa)	(kgf/cm²)	
2349-12	63,6	69,4	80,9	491	5002	535	5458	624	6362	29,6
2350-12	64,8	65,0	82,4	475	4839	476	4854	603	6153	32,7
2351-12	57,5	62,6	75,1	444	4524	483	4925	579	5909	30,4
2378-12	31,3	31,3	37,3	423	4316	423	4316	504	5143	26,8
2379-12	33,0	33,0	39,4	442	4510	442	4510	528	5385	24,2
2380-12	31,8	31,8	38,0	434	4424	434	4424	518	5286	24,3
2381-12	47,5	49,7	59,4	451	4597	472	4810	564	5748	28,7
2382-12	27,0	29,0	36,3	409	4172	439	4481	550	5608	25,6
2383-12	74,5	76,4	91,3	463	4718	474	4838	567	5781	32,7
2384-12	62,2	67,4	79,9	474	4830	513	5234	608	6205	29,2

(1): Fluencia determinada según ASTM A 370
(2): Fluencia determinada con el pico (R_{EH}) según lo establece la norma de especificación BS4360 y en el método de ensayo ISO 6892-1.





Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica

Laboratorio de ensayo
Alcance de Acreditación N° LE-018
Acreditado a partir de: 11.11.2002
Alcance disponible en www.eca.or.cr

No. de informe: I-1080-12

5.3 Gráficos

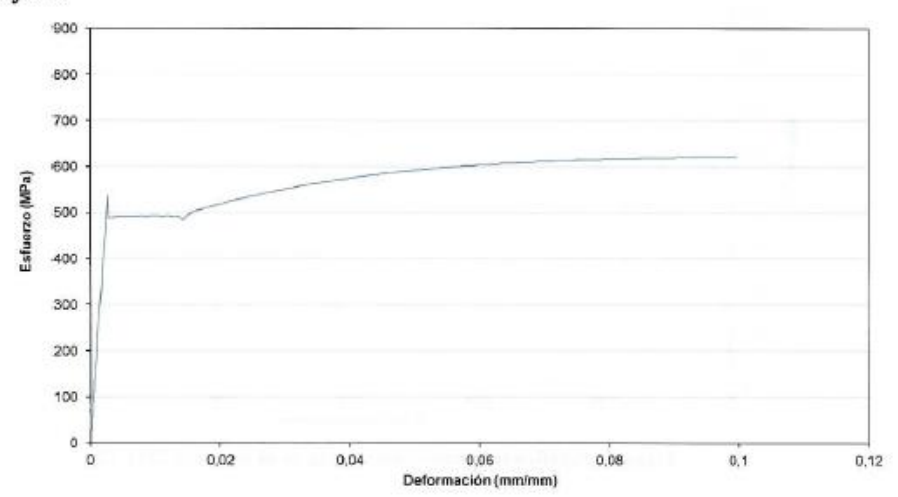


Figura 2. Gráfico esfuerzo-deformación de la muestra 2349-12

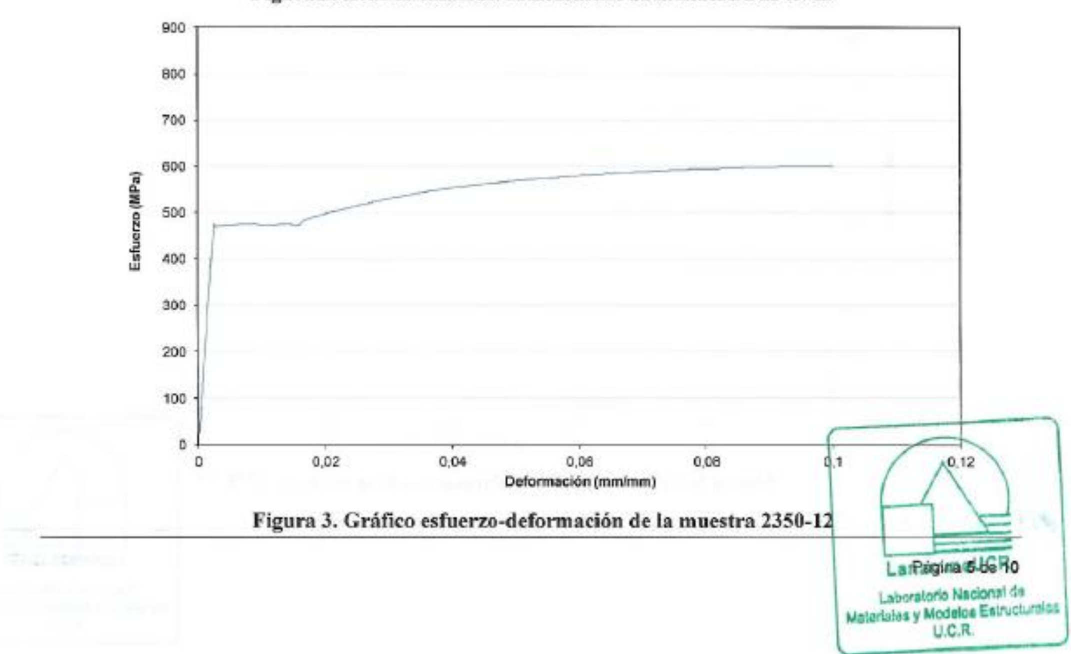


Figura 3. Gráfico esfuerzo-deformación de la muestra 2350-12

Página 5 de 10



Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica



No. de informe: I-1080-12

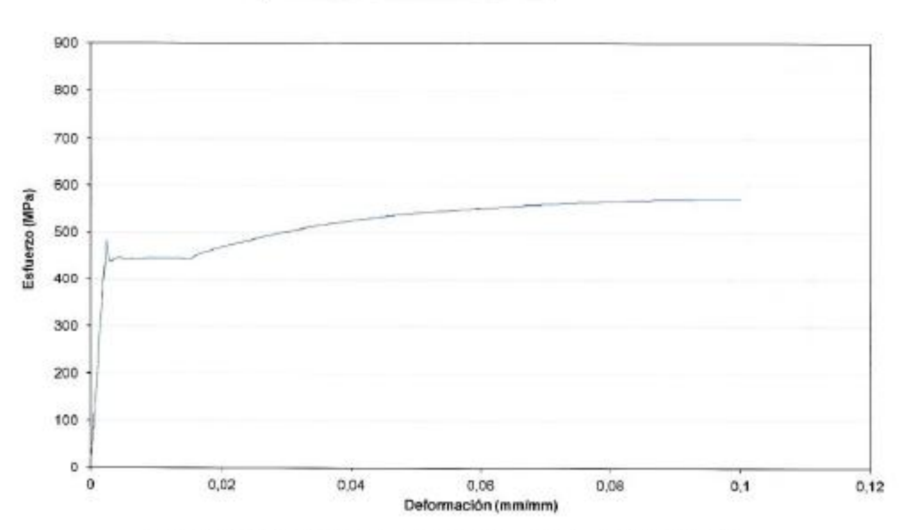


Figura 4. Gráfico esfuerzo-deformación de la muestra 2351-12

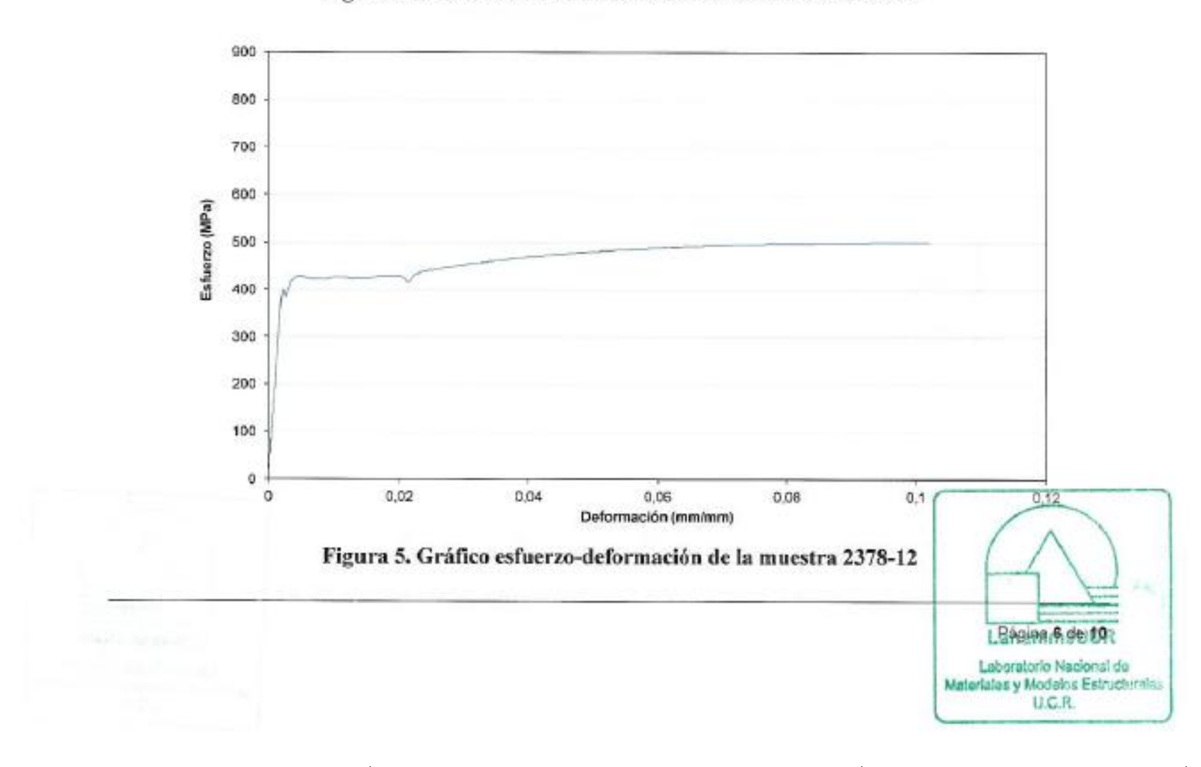


Figura 5. Gráfico esfuerzo-deformación de la muestra 2378-12

Página 6 de 10

LanammeUCR

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica

ECA
Laboratorio de ensayo
Alcance de Acreditación N° LE-018
Acreditado a partir de: 11.11.2002
Alcance disponible en www.eca.or.cr

No. de informe: I-1080-12

Esfuerzo (MPa): 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900
Deformación (mm/mm): 0, 0,02, 0,04, 0,06, 0,08, 0,1, 0,12

Figura 6. Gráfico esfuerzo-deformación de la muestra 2379-12

Esfuerzo (MPa): 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900
Deformación (mm/mm): 0, 0,02, 0,04, 0,06, 0,08, 0,1, 0,12

Figura 7. Gráfico esfuerzo-deformación de la muestra 2380-12

LanammeUCR
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales U.C.R.

Página 7 de 10



Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica



No. de informe: I-1080-12

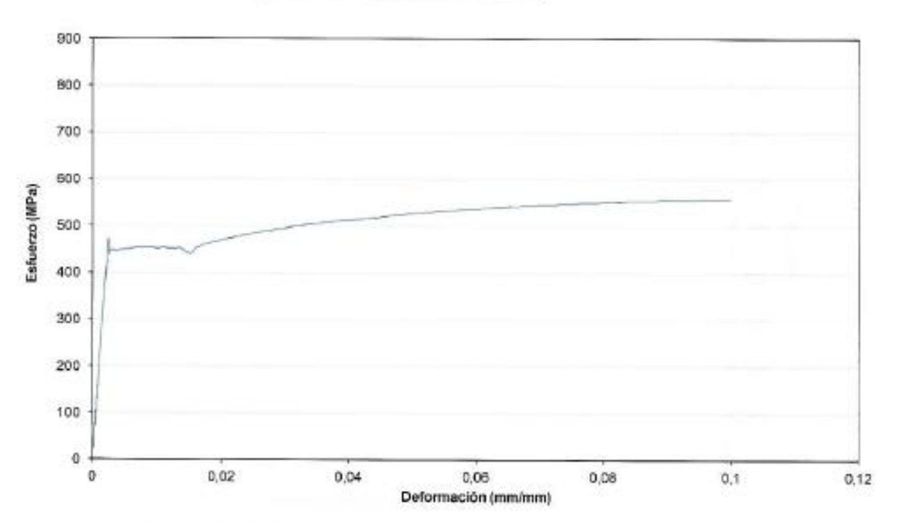


Figura 8. Gráfico esfuerzo-deformación de la muestra 2381-12

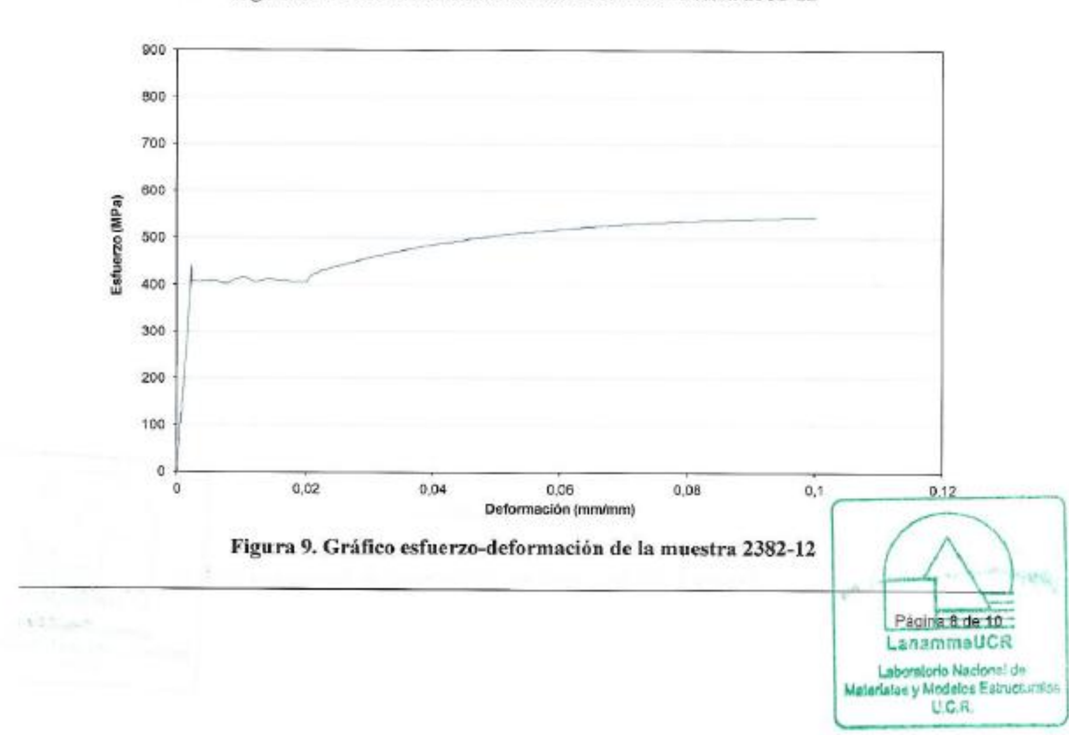


Figura 9. Gráfico esfuerzo-deformación de la muestra 2382-12

Página 8 de 10

LanammeUCR
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
U.C.R.



Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica



No. de informe: I-1080-12

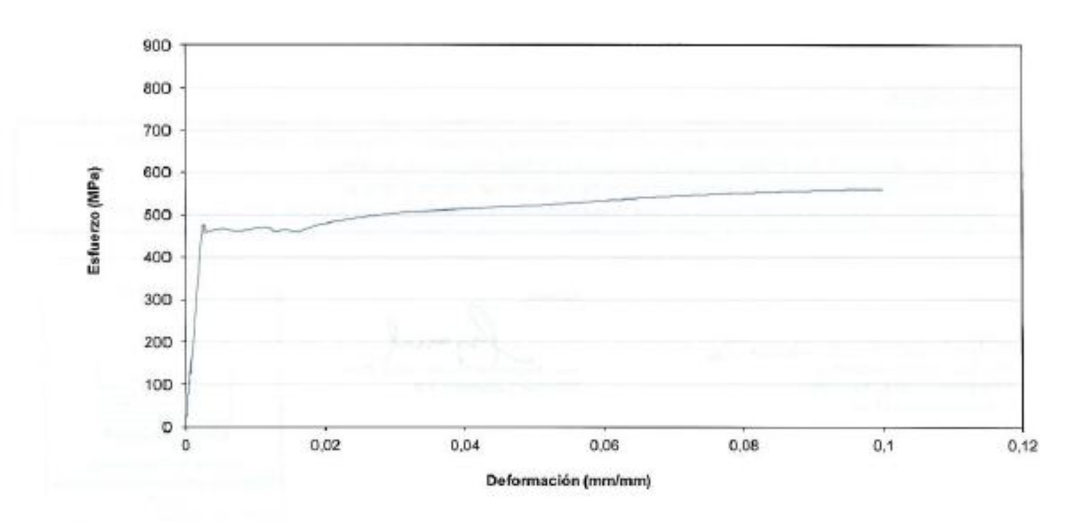


Figura 10. Gráfico esfuerzo-deformación de la muestra 2383-12

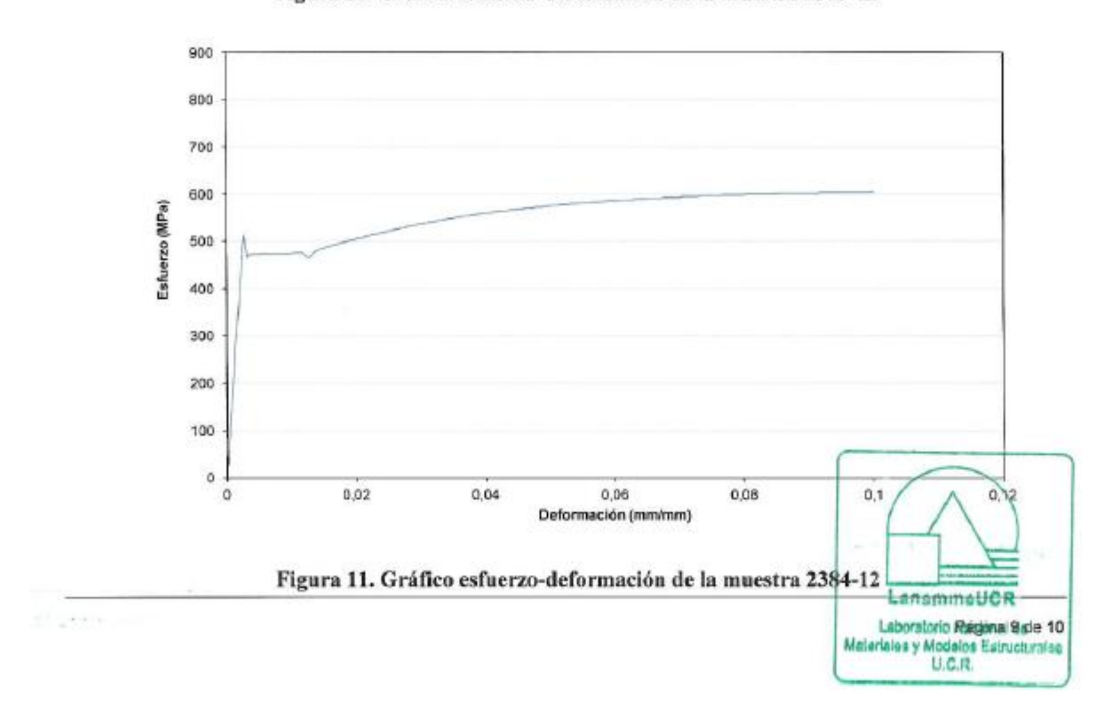


Figura 11. Gráfico esfuerzo-deformación de la muestra 2384-12

Página 9 de 10

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales - Código Postal 11501-2060, Universidad de Costa Rica, Costa Rica - Tel. (506) 2511-2500 - Fax (506) 2511-4440 - E-mail:dirección@lanamme.ucr.ac.cr



Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica



No. de informe: I-1080-12

Aclaraciones:

- El presente informe de ensayo sólo ampara las mediciones reportadas en el momento y condiciones ambientales y de uso en que se realizó esta prueba, para la(s) muestra(s) indicada(s) en este informe.
- Este informe de resultados tiene validez únicamente en su forma íntegra y original.
- No se permite la reproducción parcial de este documento sin la autorización del Director del LanammeUCR.

Revisó:

Ing. Ana Monge Sandí, M.Sc.
Coordinadora de Laboratorios
de Infraestructura Civil

Aprobó:

Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.
Director LanammeUCR

LanammeUCR
Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales
U.C.R.

Página 10 de 10